

## Pengaruh Konsentrasi Padatan Terhadap Kerugian Tekanan Aliran Lumpur

Ridwan<sup>1a</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Gunadarma

<sup>a</sup>ridwan@staff.gunadarma.ac.id

### Abstraksi

Lumpur pada dasarnya adalah campuran antara partikel padat dan air membentuk suatu suspensi. Pada saat lumpur dialirkan melalui pipa, dan jika tekanan dalam aliran tersebut tidak cukup tinggi untuk mengatasi hambatan/gesekan antar partikel dan juga terhadap dinding saluran maka sistem tidak bekerja secara baik dan optimal. Kerugian tekanan dalam setiap aliran fluida perlu diketahui dan diperhitungkan karena mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh konsentrasi padatan lumpur/concentration weight ( $C_w$ ) terhadap kerugian tekanan yang terjadi pada sistem. Fluida uji berupa lumpur dengan dua variasi  $C_w$  yakni  $C_w$  25% dan  $C_w$  50 %, serta fluida air standard ( $C_w$  0 %). Pipa uji yang digunakan adalah pipa Acrylic dengan diameter dalam 1" (25,4 mm) dengan panjang seksi uji 200 mm. Rangkaian alat uji dirancang dan dibuat, serta dilengkapi dengan alat ukur/alat bantu antara lain: pompa lumpur (jenis piston), manometer, gelas ukur, timbangan digital, tangki penampungan, stopwatch, computer pengolah data, dll. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi kepadatan lumpur ( $C_w$ ), maka faktor gesekan dan kerugian tekanan yang terjadi semakin besar untuk setiap perbandingan kecepatan/Bilangan Reynolds yang sama. Kerugian tekanan aliran lumpur pada kecepatan aliran 0,5 m/det sampai 0,65 m/det memberikan kerugian tekanan yang paling rendah.

**Kata Kunci:** konsentrasi padatan, tekanan, lumpur, manometer

### The Influence of Concentration Weight to Mud Flow Pressure Loss

#### Abstract

Mud is basically a mixture of solid particles and water forming a suspension. At the time of the mud is flowing through pipes, if the pressure of the flow is not high enough to overcome the drag/friction between particles and against the walls of the channels, then the system will not work properly and optimally. The pressure loss in each fluid flows needs to be recognized and calculated because it will affect the whole system performance. The purpose of the study is to observe the influence of concentration weight ( $C_w$ ) to the pressure loss on the system. The test fluid is mud with two variations of  $C_w$  namely  $C_w$  25% and  $C_w$  50%, as well as, standard hydraulic fluid ( $C_w$  0%). The test pipe used is acrylic pipe with inner diameter of 1" (25,4 mm) and length of 200 mm. The equipment composition is designed and manufactured, as well as equipped by measuring tools such as pumps (piston type), manometer, beaker glass, digital scales, tank shelters, stopwatch, data processing computer, etc. The result of analysis indicates that the higher concentration weight of mud, the bigger

*friction and pressure loss occuring in the same Reynolds number/speed comparisons. The pressure loss of mud flow with the speed of 0,5 m/sec to 0,65 m/sec contributes the lowest pressure loss.*

**Keywords:** Concentration weight, pressure, mud, manometer

## PENDAHULUAN

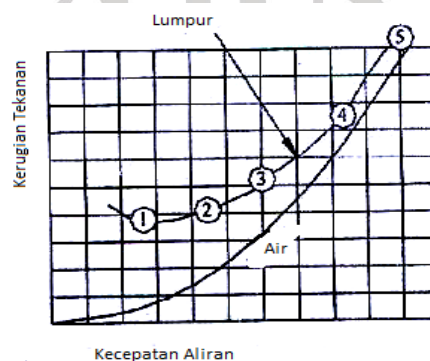
Fluida dapat mengalir di dalam pipa dengan kecepatan yang diinginkan bila gaya hambat yang terjadi di dalam pipa tersebut dapat diatasi [Abulnaga, 2002]. Kerugian energi yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida disebut kerugian jatuh tekanan. Kerugian jatuh tekanan yang membutuhkan energi dapat direduksi dengan pengurangan hambatan dalam aliran. Untuk mendorong fluida dalam sistem perpipaan dibutuhkan energi yang sesuai dengan kapasitas aliran yang dibutuhkan. Pemakaian energi yang diperlukan itu dapat dihemat dengan tidak me-ngurangi kapasitas yang sudah ditentukan [Chanhee, 2008]. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh konsentrasi padatan lumpur/concentration weight (Cw) terhadap kerugian tekanan yang terjadi pada sistem.

## TINJAUAN PUSTAKA

Pada umumnya transportasi slurry di industri menggunakan *closed duct* (pipa). Sistem transportasi slurry dalam pipa harus menghindari dua kondisi ekstrem yaitu: kecepatan terlalu rendah yang akan membuat padatan mulai mengendap, dan

kecepatan terlalu tinggi yang menyebabkan tingkat abrasi pipa dan pressure drop (yang berarti juga kebutuhan daya pompa) yang berlebihan [Plumlee, 2008].

Lumpur termasuk dalam kategori fluida non-Newtonian *multi phase* dimana karakteristik dan perilakunya sangat berbeda dengan fluida Newtonian (air) saat dialirkan dalam pipa. Kekentalan lumpur bukan hanya dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan tapi juga kecepatan aliran. Pada Gambar 1 terlihat bahwa sistem aliran lumpur memiliki kerugian jatuh tekanan (*pressure drop*) yang lebih tinggi dibanding dengan fluida air, pada gambar tersebut juga dapat diketahui bahwa ada daerah tertentu yakni daerah 3-4 (*asymetric flow*) yang mana terlihat *pressure drop* lumpur mendekati *pressure drop* fluida air yang berarti bahwa daerah tersebut adalah daerah (*region*) yang optimal untuk aliran lumpur pada pipa bulat. Sebaliknya pada daerah 1-2 (*stationary bed*) terlihat *pressure drop* aliran lumpur relatif jauh lebih tinggi diatas *pressure drop* fluida air. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah tersebut seharusnya dihindari dalam aliran slurry sehingga didapatkan aliran yang optimal dalam hal meminimalkan pemakaian energi pada pompa [Changhee, 2008] [Fokeer, 2009].



Gambar. 1 Hubungan antara Kecepatan aliran dan Kerugian tekanan [Changhee, 2008]

Selain terjadi *pressure drop* yang tinggi pada zone 1-2 juga pada daerah tersebut *slurry* sangat sulit mengalir dan terjadi penyumbatan (*sludge*), untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui daerah (region) serta kecepatan yang optimal, yang menghasilkan kerugian tekanan yang paling rendah sehingga memberikan keuntungan berupa penghematan energi dalam sistem aliran tersebut [Fokeer, 2010]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi atau kandungan padatan lumpur (Cw) terhadap kerugian tekanan yang terjadi pada pipa bulat.

### Metode Penelitian

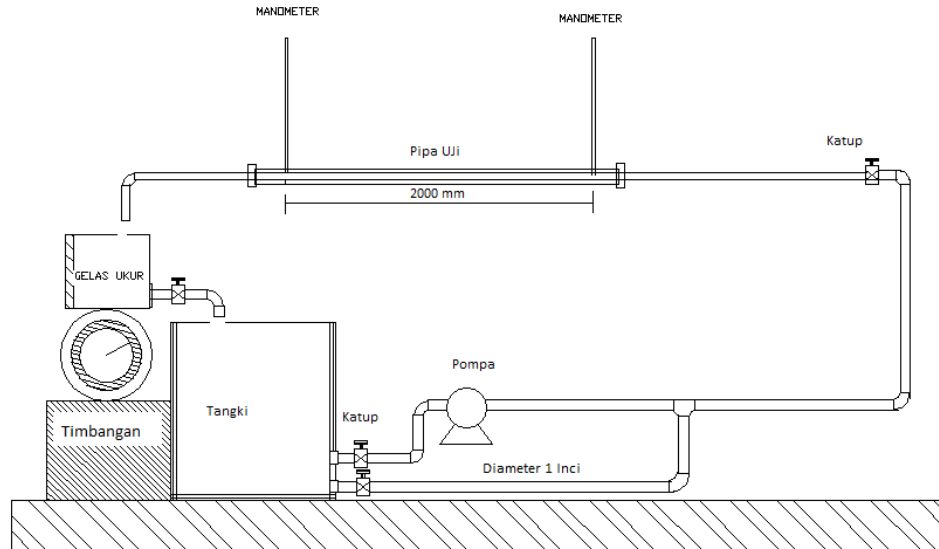
Penelitian ini diselesaikan dengan metode eksperimen. Pelaksanaan penelitian dimulai dengan kajian pustaka/standard, untuk merancang, membuat dan mengambil data pada alat uji yang dibuat. Alat uji (Setup Penelitian) secara skematik dapat dilihat pada Gambar 2: Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut: Pompa lumpur jenis piston, tangki penampungan, manometer, valve/katup pengatur, pipa penyalur, gelas ukur, stopwatch, timbangan, kunci-kunci (tools), komputer, dan lain-lain.

Rancangan alat uji ditampilkan pada Gambar 2. Fluida yang diuji (fluida uji) ditempatkan pada penampungan fluida (tangki), fluida uji terdiri dari air biasa/standard yang tidak mengandung partikel padat (Cw 0 %) dan fluida uji berupa lumpur

yang mengandung partikel padat 25 % massa terhadap total massa larutan (Cw 25 %), dan fluida uji berupa lumpur yang mengandung partikel padat 50 % massa terhadap total massa larutan (Cw 50 %). Fluida uji ini dialirkan/disirkulasikan dengan bantuan pompa piston. Saluran hisap pompa berupa saluran utama terhubung dengan tangki penampungan dan saluran yang bawah berfungsi sebagai *by-pass*. Pada saat katup *by-pass* terbuka penuh maka aliran dari pompa akan kembali lagi menuju penampungan sehingga tidak ada fluida yang menuju ke pipa uji. Sesaat setelah katup *by-pass* mulai ditutup dan katup utama dibuka maka fluida mengalir melalui pipa uji, dan perbedaan head ( $\Delta h$ ) terbaca pada kedua manometer.

Fluida uji baik Cw 0 %, Cw 25 %, dan Cw 50% tersebut dialirkan menuju pipa uji yakni pipa bulat (circular pipe) dari bahan acrylic yang memiliki diameter dalam 1 inci (25,4 mm). Fluida uji khususnya untuk lumpur yang ada dalam tangki penampungan, sebelum dialirkan menuju pipa uji terus diaduk untuk menjaga homogenitasnya. Kerugian head (head loss) diukur pada jarak antara dua *pressure tap* (manometer) 1 dan 2 yang berjarak 2000 mm. Debit aliran diketahui dengan mencatat waktu yang dibutuhkan sampai gelas ukur mencapai volume 5 liter. Pada saat yang sama dicatat angka penunjukan pada manometer 1 dan manometer 2 sehingga diketahui selisih/perbedaan ketinggian/tekanan yang terjadi.





Gambar.2 Setup Alat

Massa jenis fluida uji diketahui dengan menimbang fluida yang tertampung dalam gelas ukur. Kecepatan aliran lumpur memasuki pipa uji diatur dari bukaan katup. Variasi bukaan katup yaitu 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, dan 90° (bukaan katup 90° adalah katup/valve terbuka sempurna). Pengambilan data dimulai dari aliran dengan

bukaan katup 30°, 40°, sampai bukaan katup 90°. Pengambilan data dimulai dengan menggunakan fluida uji air ( $C_w$  0%) sebagai data pembanding/standard, dilanjutkan pengambilan data untuk fluida uji lumpur  $C_w$  25% dan  $C_w$  50%. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung konsentrasi padatan ( $C_w$ ):

$$C_w = \frac{m_{\text{lumpur padat}}}{m_{\text{pelarut}} + m_{\text{lumpur padat}}} \times 100\% \quad (1)$$

Bilangan Reynolds ( $Re$ ) dihitung menggunakan Persamaan 2 [Khlaifat, 2009].

$$Re' = \frac{\rho_m D_h^n v^{2-n}}{\mu} \quad (2)$$

Pengambilan data dilakukan setelah dipastikan semua alat (ukur) telah berfungsi sebagaimana mestinya, dan telah dilakukan kalibrasi, termasuk tidak ada kebocoran fluida dalam sistem, bebas getaran dan sebagainya. Selanjutnya dilaksanakan pengambilan, pengolahan dan analisa data, serta pembuatan grafik kecepatan dan koefisien gesek, perhitungan Bilangan Reynolds, perhitungan pressure drop dan massa jenis.

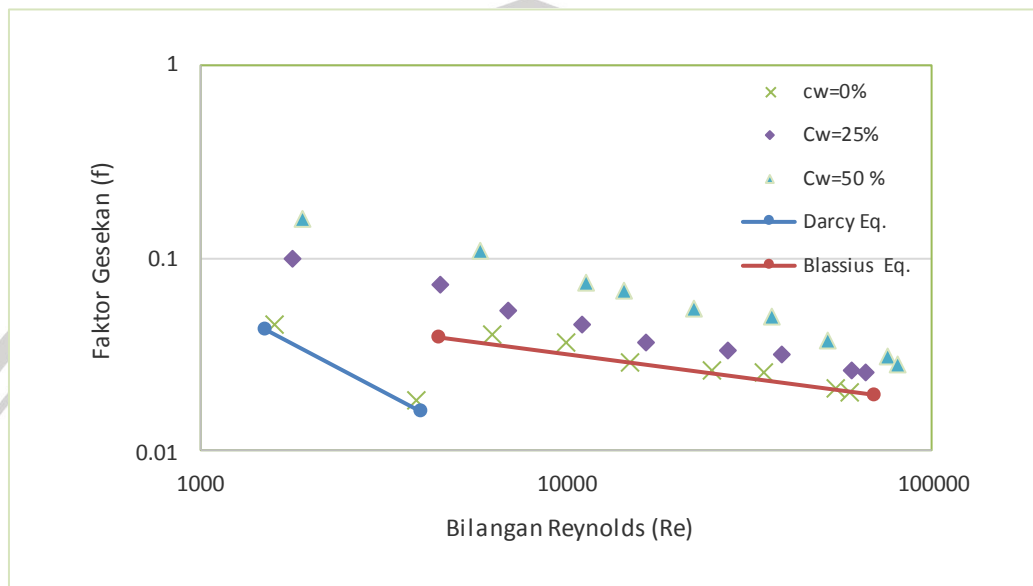
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah rangkaian alat penelitian selesai dirakit maka dilakukan pengambilan dan pengolahan data. Pengambilan data pertama

kali dilakukan untuk fluida air ( $C_w$  0%). Air adalah fluida standard yang banyak digunakan sebagai bahan acuan atau referensi. Hasil pengolahan data baik untuk air maupun untuk lumpur dapat dilihat pada Gambar 3. Pada gambar tersebut diplot hubungan antara faktor gesekan (friction factors) terhadap Bilangan Reynolds. Sebagai acuan untuk melihat posisi data baik air maupun lumpur diplot juga masing-masing garis yang mewakili Persamaan Darcy-Weisbach dan Persamaan Blassius. Kedua persamaan ini masing-masing menunjukkan posisi dan acuan untuk kecepatan aliran rendah (laminar) dan kecepatan aliran tinggi (kondisi turbulent).

Pada Gambar 3 dapat dilihat untuk fluida uji air konsentrasi kepadatan ( $C_w$  0 %) hubungan antara faktor gesekan dan Bilangan Reynolds terlihat berimpit dengan persamaan garis Darcy dan juga berimpit dengan persamaan garis Blassius. Terlihat terjadi kondisi transisi pada saat bukaan katup ditambah dimana kecepatan aliran/

bilangan Reynolds diatas 2000 sampai menjelang 4000. Saat Bilangan Reynolds mendekati angka 10000, faktor gesekan kembali berimpit dengan Persamaan garis Blassius dan faktor gesekan mengalami kecenderungan turun seiring dengan semakin naiknya bilangan Reynolds.



Gambar. 3 Hubungan antara faktor gesekan terhadap Bilangan Reynods

Konsentrasi kepadatan lumpur masing-masing untuk kandungan lumpur  $C_w$  25% dan  $C_w$  50% faktor gesekan semua berada diatas faktor gesekan Darcy dan Blassius. Terlihat semakin tinggi nilai konsentrasi padatan ( $C_w$ ) maka faktor gesekan semakin tinggi untuk semua kondisi bilangan Reynolds. Pada kecepatan/Bilangan Reynolds ( $Re$ ) dibawah 10000 dimana saat bukaan katup  $30^\circ$  dan  $40^\circ$  terlihat faktor gesekan jauh diatas faktor gesekan untuk fluida air ( $C_w = 0\%$ ). Hal ini bersesuaian dengan teori yang dikemukakan oleh Abulnaga [Abulnaga, 2002] bahwa aliran lumpur pada saat awal mengalir utamanya pada kecepatan rendah dibawah 0,5 m/det. Aliran lumpur sulit mengalir dibutuhkan daya yang besar dan cenderung terjadi penyumbatan dan pengendapan pada pada sisi inlet pipa dan bagian bawah pipa cenderung terjadi pengendapan. Saat kecepatan aliran terus dinaikkan maka faktor gesekan baik untuk fluida uji  $C_w$  25%

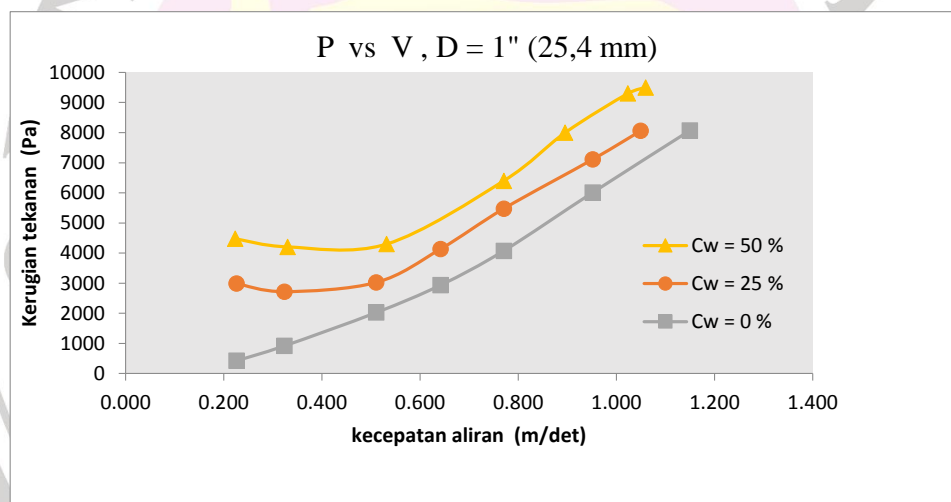
maupun untuk fluida uji  $C_w$  50 % cenderung menurun dan terlihat bersesuaian dengan Garis Persamaan Blassius. Faktor gesekan aliran lumpur yaitu kedua kategori fluida yang diuji tidak ada yang menyentuh garis Blassius, semua berada di atas garis Blassius. Hal ini dapat terjadi karena fluida uji dengan kandungan padatan yang lebih tinggi memiliki massa jenis yang lebih tinggi seiring dengan bertambahnya konsentrasi kepatan ( $C_w$ ). Adapun adanya kecenderungan untuk mengalami penurunan faktor gesekan saat kecepatan atau Bilangan Reynolds yang lebih tinggi, hal ini diakibatkan oleh sifat fluida lumpur (fluida Newtonian) yang mengalami penurunan kekentalan (viskositas) saat dialirkan utamanya pada kecepatan yang lebih tinggi.

Pada Gambar 4 terlihat grafik hubungan antara kerugian tekanan terhadap kecepatan aliran. Kerugian tekanan yang paling tinggi terjadi pada fluida uji lumpur dengan konsentrasi kepadatan  $C_w$  50 % dan yang

paling rendah adalah kerugian tekanan yang terjadi pada fluida uji air ( $C_w$  0 %). Pada kecepatan aliran rendah dibawah 0,5 m/det, perbedaan kerugian tekanan yang terjadi baik pada fluida uji lumpur ( $C_w$  25 %) maupun fluida uji lumpur dengan  $C_w$  50% terlihat signifikan. Kondisi dimana terjadi daerah signifikansi perbedaan tekan antara lumpur (mud slurry) dan fluida air sebagai acuan, sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Baha Abulnaga, bahwa daerah tersebut mengalami *stationary bad*, dimana kandungan padatan lumpur cenderung terjadi sumbatan dan pengendapan dan menyebabkan suatu kerugian tekanan (*pressure drop*) yang signifikan.

Saat kecepatan aliran terus dinaikkan, dan berada di atas kecepatan aliran 1 m/det maka kerugian tekanan terlihat lebih cenderung mengikuti kerugian tekanan yang

terjadi pada fluida air, sampai kecepatan tertinggi yang dicapai pada penelitian ini sekitar 1,25 m/det. Penurunan tekanan yang terjadi juga sangat bersesuaian dengan faktor gesekan yang terjadi sebagaimana telah terlihat pada Gambar 3. Faktor yang mempengaruhi besarnya kerugian tekanan sebagaimana dilihat pada Gambar 4 adalah konsentrasi kepadatan. Semakin tinggi konsentrasi kepadatan memberikan kerugian tekanan yang lebih tinggi, pada kecepatan aliran dan diameter pipa yang sama. Kerugian tekanan dengan fluida uji lumpur dengan konsentrasi kepadatan  $C_w$  25 % dan  $C_w$  50 % untuk pipa uji dengan diameter 25,4 mm pada kecepatan aliran yang dijaga homogenitasnya menghasilkan kerugian tekanan yang minimum pada kecepatan aliran 0,5 m/det sampai dengan 0,65 m/det.



Gambar 4. Hubungan antara kerugian tekanan terhadap kecepatan aliran

## SIMPULAN

Kerugian tekanan (pressure drop) aliran lumpur pada konsentrasi kepadatan lumpur  $C_w = 25\%$  dan  $C_w = 50\%$  mencapai kondisi minimum pada kecepatan aliran 0,5 m/det sampai 0,6 m/det. Faktor gesekan (*friction factors*) dengan fluida uji air ( $C_w = 0\%$ ) bersesuaian dengan faktor gesekan ( $f$ ) baik untuk persamaan Darcy maupun Persamaan Blassius.

Pada kecepatan aliran rendah yakni dibawah 0,5 m/det, kerugian tekanan yang terjadi terlihat lebih signifikan perbedaan

penurunannya, antara fluida uji air terhadap fluida uji yang mengandung konsentrasi kepadatan lumpur  $C_w 25\%$  dan  $C_w 50\%$ .

## Notasi

P	Tekanan	[Pa]
$v$	kecepatan fluida	[m/det]
$C_w$	Konsentrasi Kepadatan lumpur	(%)
m	Massa	(kg)
Re	Reynolds Number	(-)
Di	diameter dalam	(mm)

f Faktor gesekan (-)  
 $\mu$  Viskositas (Pa. det)

## DAFTAR PUSTAKA

- [Abulnaga, 2002] Abulnaga, B.E. .2002, "Slurry Handbook", McGraw-Hill. New York
- [Changhee, 2008] Changhee, et.al. 2008. Hydraulic Transport of Sand-Water Mixture in Pipelines. Journal of Mechanical Science and Technology. Vol.22. pp.2534-2541
- [Plumlee, 2008] Plumlee, Geoffrey, et al., Preliminary Analytical Result for a Mud sample collected from the LUSI Mud vulcano, Sidoarjo, East Java, Indonesia. USGS. Science (2008).
- [Fokeer, 2009] Fokeer., et. al. 2009. An Experimental Investigation of Pneumatic Swirl Flow Induced by a Three Lobed Helical Pipe, International Journal of Heat and Fluid Flow , Vol.30 pp. 369-379
- [Fokeer, 2010] Fokeer., et. al 2010. Numerical Modelling of Swirl Flow Induced by a Three Helical Pipe, Chemical Engineering and Processing . Vol. 49, pp. 536-546
- [Khlaifat, 2009] Khlaifat, A., Al-Kamis T., 2009. " Dead Sea Mud Slurry Flow in a Horizontal Pipe" Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. Vol.3 no.3.pp.168-171